

Fasies gunung api dan aplikasinya

SUTIKNO BRONTO

Pusat Survei Geologi, Jln. Diponegoro 57 Bandung, Indonesia

SARI

Berdasarkan bentuk bentang alam dan asosiasi batuan penyusun, suatu kerucut gunung api komposit dapat dibagi menjadi fasies sentral, fasies proksimal, fasies medial, dan fasies distal. Secara bentang alam, pembagian tersebut dimulai dari pusat erupsi di bagian puncak, menurun ke arah lereng, kaki, serta dataran di sekelilingnya. Fasies sentral gunung api dicirikan oleh asosiasi batuan beku intrusi dangkal, kubah lava, dan batuan ubahan hidrotermal. Fasies proksimal tersusun oleh perselingan aliran lava dan breksi piroklastika. Fasies medial terutama berupa breksi piroklastika, breksi lahar, dan konglomerat, sedangkan fasies distal lebih banyak disusun oleh batuan epiklastika berukuran butir pasir-lempung. Tuf dapat tersebar mulai dari fasies proksimal sampai distal karena berbutir halus dan ringan. Pembagian fasies gunung api di dalam batuan berumur Tersier atau lebih tua dilakukan dengan pendekatan inderaja - geomorfologi, stratigrafi batuan gunung api, vulkanologi fisik, struktur geologi, serta petrologi - geokimia. Pembagian fasies gunung api ini dapat dimanfaatkan dalam rangka pencarian sumber baru di bidang mineral dan energi, penataan lingkungan, serta mitigasi bencana geologi.

Kata kunci: kerucut gunung api komposit, fasies gunung api

ABSTRACT

Based on the nature and rock association, a composite volcanic cone can be divided into central facies, proximal facies, medial facies and distal facies. Physiographically, those begin from central eruption at the summit, going down to upper slope, lower slope, and foot plain in the surrounding area. Central facies is characterized by the presence of subvolcanic intrusions, lava domes, and hydrothermally altered rocks. Proximal facies consists of alternating lava flows and pyroclastic breccias. Medial facies mainly is composed of pyroclastic breccias, laharic breccias, and conglomerates. Whereas, distal facies is dominated by fine-grained epiclastic rocks having sand to clay size. Tuff can be widely distributed from proximal to distal facies due to its fine grain and lightness. Methodological approaches for classification of volcanic facies in Tertiary and older rocks are remote sensing and geomorphology, volcanic stratigraphy, physical volcanology, structural geology, and petrology-geochemistry. This volcanic facies division is useful for supporting new discovery on energy and mineral resources, environmental geology, and geologic hazard mitigation.

Keywords: composite volcanic cone, volcanic facies

PENDAHULUAN

Di Indonesia, gunung api dan hasil kegiatannya yang berupa batuan gunung api tersebar melimpah baik di darat maupun di laut. Berdasarkan umur geologi, kegiatan gunung api di Indonesia paling tidak sudah dimulai sejak Zaman Kapur Atas

(Martodjojo, 2003) atau sekitar 76 juta tahun yang lalu (Ngkoimani, 2005) hingga masa kini. Namun demikian, sejauh ini para ahli kebumihan masih sangat sedikit yang tertarik untuk mempelajari ilmu gunung api atau vulkanologi. Hal itu tentunya tidak terlepas dari pengaruh pendidikan dasar geologi yang diperolehnya serta atmosfer penelitian yang

masih kurang mendukung (Bronto, 2003a; Bronto drr., 2004a). Sebagai akibat lebih lanjut, meskipun wilayah Indonesia mempunyai banyak gunung api dan batuanya tersebar luas, sementara tidak banyak ahli geologi yang mendalaminya, maka dapat dikatakan bahwa kita tidak menjadi pakar di daerahnya sendiri. Padahal diyakini, apabila lingkungan geologi (gunung api) dapat benar-benar difahami, maka hal itu akan menjadi modal dasar untuk memanfaatkan potensi sumber daya alam yang ada ataupun penanggulangan terhadap bencana yang mungkin ditimbulkannya.

Makalah ini ditujukan untuk menunjukkan betapa pentingnya pemahaman terhadap geologi gunung api, khususnya fasies gunung api dan berbagai aplikasinya, baik untuk kepentingan praktis di bidang sumber daya dan mitigasi bencana, maupun dalam pengembangan konsep-konsep geologi di Indonesia. Hal itu dimaksudkan agar penelitian geologi gunung api semakin berkembang pada masa mendatang.

TERMINOLOGI

Schieferdecker (1959) mendefinisikan gunung api (*volcano*) adalah “*a place at the surface of the earth where magmatic material from the depth erupts or has erupted in the past, usually forming a mountain, more or less conical in shape with a crater in the top*” (sebuah tempat di permukaan bumi dimana bahan magma dari dalam bumi keluar atau sudah keluar pada masa lampau, biasanya membentuk suatu gunung, kurang lebih berbentuk kerucut yang mempunyai kawah di bagian puncaknya). Sementara itu Macdonald (1972) menyatakan bahwa “*volcano is both the place or opening from which molten rock or gas, and generally both, issues from the earth's interior onto the surface, and the hill or mountain built up around the opening by accumulation of the rock material*” (gunung api adalah tempat atau bukaan dimana batuan kental pijar atau gas, umumnya keduanya, keluar dari dalam bumi ke permukaan, dan tumpukan bahan batuan di sekeliling lubang kemudian membentuk bukit atau gunung). Dari dua definisi tersebut maka untuk dikatakan sebagai gunung api harus ada magma yang berupa batuan pijar dan atau gas yang keluar ke permukaan bumi melalui bukaan (kawah). Hasil kegiatan berupa bahan padat yang teronggokkan di sekeliling lubang

biasanya membentuk bukit atau gunung dan disebut sebagai batuan gunung api.

Menurut Schieferdecker (1959) fasies ialah “*the sum of the lithological and paleontological characters exhibit by a deposit at a particular point*” (jumlah ciri litologi dan paleontologi yang ditunjukkan oleh suatu endapan pada suatu lokasi tertentu). Sementara itu litofasies diartikan sebagai “*the collective physical and organic characters found in any sedimentary rock which indicate environment of deposition*” (sekumpulan ciri fisik dan organik yang dijumpai di dalam batuan sedimen yang mengindikasikan lingkungan pengendapannya; Schieferdecker, 1959). Di dalam Sandi Stratigrafi Indonesia (Martodjojo dan Djuhaeni, 1996) fasies adalah aspek fisika, kimia, atau biologi suatu endapan dalam kesamaan waktu. Dua tubuh batuan yang diendapkan pada waktu yang sama dikatakan berbeda fasies, kalau kedua batuan tersebut berbeda ciri fisika, kimia, atau biologinya. Istilah fasies dan litofasies tersebut lebih dititikberatkan untuk batuan sedimen. Oleh sebab itu untuk fasies gunung api perlu dilakukan modifikasi, yakni sejumlah ciri litologi batuan gunung api dalam kesamaan waktu pada suatu lokasi tertentu. Ciri-ciri litologi dapat menyangkut aspek fisika, kimia, dan biologi. Berhubung di dalam batuan gunung api tidak selalu dijumpai fosil, maka aspek biologi tidak dijadikan parameter utama.

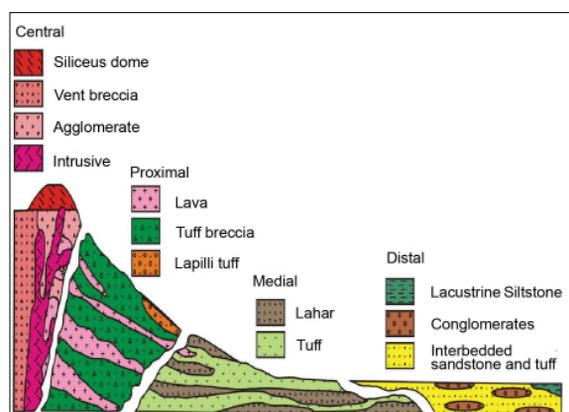
PEMBAGIAN FASIES GUNUNG API

Secara bentang alam, gunung api yang berbentuk kerucut dapat dibagi menjadi daerah puncak, lereng, kaki, dan dataran di sekelilingnya. Pemahaman ini kemudian dikembangkan oleh Williams dan McBirney (1979) untuk membagi sebuah kerucut gunung api komposit menjadi 3 zone, yakni *Central Zone*, *Proximal Zone*, dan *Distal Zone*. *Central Zone* disetarakan dengan daerah puncak kerucut gunung api, *Proximal Zone* sebanding dengan daerah lereng gunung api, dan *Distal Zone* sama dengan daerah kaki serta dataran di sekeliling gunung api. Namun dalam uraiannya, kedua penulis tersebut sering menyebut *zone* dengan *facies*, sehingga menjadi *Central Facies*, *Proximal Facies*, dan *Distal Facies*.

Pembagian fasies gunung api tersebut dikembangkan oleh Vessel dan Davies (1981) serta Bogie dan Mackenzie (1998) menjadi empat kelompok,

yaitu *Central/Vent Facies*, *Proximal Facies*, *Medial Facies*, dan *Distal Facies* (Gambar 1). Sesuai dengan batasan fasies gunung api, yakni sejumlah ciri litologi (fisika dan kimia) batuan gunung api pada suatu lokasi tertentu, maka masing-masing fasies gunung api tersebut dapat diidentifikasi berdasarkan data:

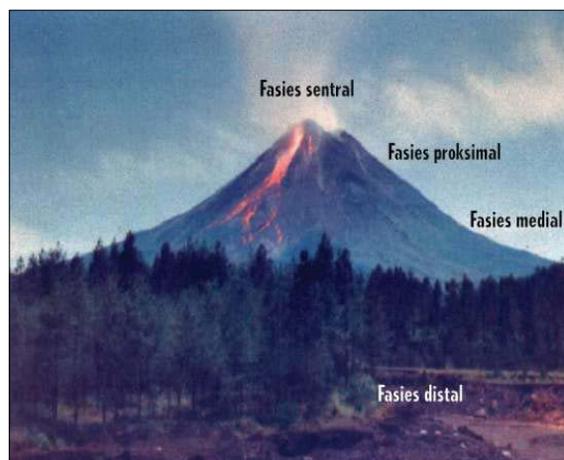
1. indera dan geomorfologi,
2. stratigrafi batuan gunung api,
3. vulkanologi fisik,
4. struktur geologi, serta
5. petrologi-geokimia.



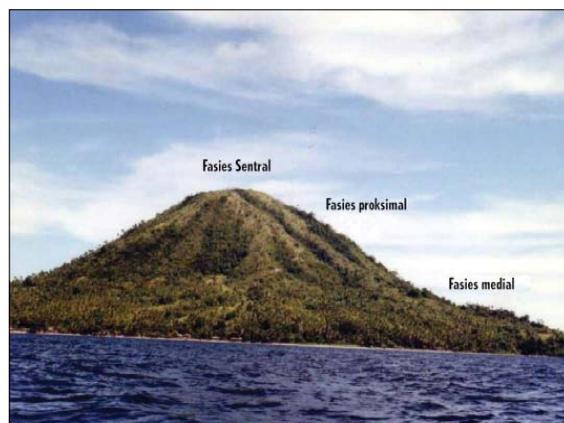
Gambar 1. Pembagian fasies gunung api menjadi fasies sentral, fasies proksimal, fasies medial, dan fasies distal beserta komposisi batuan penyusunnya (Bogie & Mackenzie, 1998).

IDENTIFIKASI BERDASARKAN INDERAJA DAN GEOMORFOLOGI

Pada umur Kuartar hingga masa kini, bentang alam gunung api komposit sangat mudah diidentifikasi karena bentuknya berupa kerucut, di puncaknya terdapat kawah dan secara jelas dapat dipisahkan dengan bagian lereng, kaki, dan dataran di sekitarnya (Gambar 2). Dari puncak ke arah kaki, sudut lereng semakin melandai untuk kemudian menjadi dataran di sekitar kerucut gunung api tersebut. Untuk pulau gunung api, bagian puncak dan lereng menyembul di atas muka air laut sedangkan kaki dan dataran berada di bawah muka laut (Gambar 3). Namun berdasarkan penelitian topografi bawah laut, tidak hanya kaki dan dataran di sekeliling pulau gunung api, tetapi juga kerucut gunung api bawah laut dapat diidentifikasi. Aliran sungai pada kerucut gunung api di darat dan pulau gunung api mempunyai pola



Gambar 2. Pembagian fasies gunung api pada gunung api aktif masa kini seperti halnya di kerucut komposit Gunung Merapi, Jawa Tengah. Fasies sentral terletak di bagian puncak atau pusat erupsi, fasies proksimal pada lereng atas dan fasies medial di lereng bawah. Fasies distal terletak di kaki dan dataran di sekeliling gunung api, di antaranya dataran di latar depan gunung api.



Gambar 3. Pulau Maitara di daerah Ternate, Maluku Utara sebagai salah satu pulau gunung api Kuartar di mana fasies distalnya berada di bawah muka air laut.

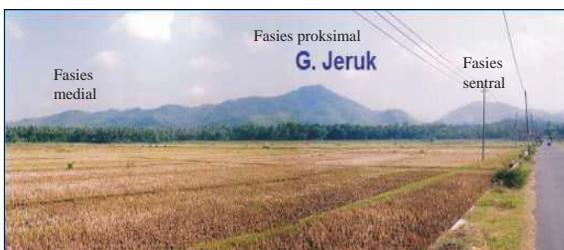
memancar dari daerah puncak ke kaki dan dataran di sekitarnya.

Apabila suatu kerucut gunung api di darat atau di atas muka air laut sudah tidak aktif lagi, maka proses geomorfologi yang dominan adalah pelapukan dan erosi, terutama di daerah puncak yang merupakan daerah timbunan tertinggi. Karena pengaruh litologi yang beragam di daerah puncak, ada yang keras dan ada yang lunak, relief daerah puncak menjadi sangat kasar, tersusun oleh bukit-bukit runcing di antara lembah-lembah sungai yang terjal dan dalam (Gam-

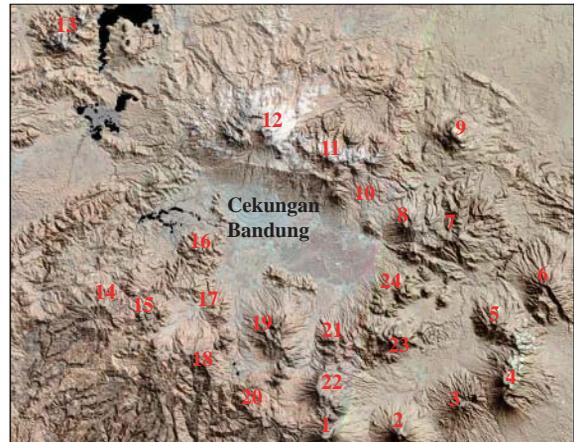
bar 4). Sekalipun suatu kerucut gunung api sudah tererosi cukup lanjut, bagian lereng biasanya masih memperlihatkan pola sudut lereng yang melandai ke arah kaki dan berpasang-pasangan menghadap ke arah bekas puncak. Kemiringan lereng bukit yang menghadap ke daerah bekas puncak pada umumnya lebih terjal daripada kemiringan lereng yang menjauhi daerah puncak (Gambar 5). Dari citra *landsat* (Gambar 6 dan Tabel 1) secara utuh dapat diperlihatkan perbedaan penampakan bentang alam kerucut gunung api muda dan yang sudah tererosi, baik pada tingkat dewasa maupun lanjut, mulai dari daerah puncak (fasies sentral), lereng atas (fasies proksimal), lereng bawah (fasies medial), dan kaki serta dataran (fasies distal).



Gambar 4. Bentang alam fasies sentral gunung api Tersier Gunung Bungkuk di sebelah barat Ponorogo. Morfologi kerucut mengindikasikan batuan keras atau tahan erosi, sedang bentuk lembah ditempati oleh batuan lunak.



Gambar 5. Morfologi lereng-kaki selatan Gunung Jeruk, yang diperkirakan sebagai fasies sentral-proksimal-medial gunung api Tersier Ijo-Kukusan di Pegunungan Kulonprogo, Yogyakarta. Puncak Gunung Ijo dan Gunung Kukusan terletak di sebelah kanan gambar.



Gambar 6. Citra *landsat* daerah Bandung dan sekitarnya yang memperlihatkan bentuk bentang alam kerucut gunung api muda (misal nomor 1, 2, 4, 8, dan 9) sampai tua (nomor 3, 7, 11, 13, 16, dan 18). Gunung api muda dicirikan oleh bentuk kerucut yang relatif masih utuh dengan pola aliran memancar dari pusat erupsi. Semakin tua relief gunung apinya semakin kasar sebagai akibat erosi yang semakin lanjut dan aliran sungai cenderung ke pola mendaun. Urutan nama gunung api di dalam teks.

Tabel 1. Urut-urutan Nama Gunung Api di dalam Gambar 6. Gunung api tersebut pada umumnya berumur Kuartar, kecuali G. Sanggabuwana-Jatiluhur (5-2 Ma; Soeria-Atmadja dr., 1994) dan Soreang (G. Selacau-Paseban, 4 Ma; Sunardi dan Koesoemadinata, 1999)

Nomor	Nama Gunung Api
1	Papandayan
2	Cikurai
3	Karacak
4	Galunggung
5	Sadakeling
6	Cakrabuwana
7	Kareumbi Tua
8	Kareumbi Muda
9	Tampomas
10	Manglayang
11	Cupunagara
12	Sunda-Tangkubanparahu
13	Sanggabuwana (umur Tersier)
14	Kendeng
15	Patuha
16	Soreang (umur Tersier)
17	Tanjakanngsi
18	Kuda
19	Malabar
20	Wayang-Windu
21	Kamojang
22	Darajat (G. Kendang-G.Guha)
23	Guntur
24	Mandalawangi

IDENTIFIKASI BERDASARKAN STRATIGRAFI BATUAN GUNUNG API

Fasies sentral merupakan bukaan keluarnya magma dari dalam bumi ke permukaan. Oleh sebab itu daerah ini dicirikan oleh asosiasi batuan beku yang berupa kubah lava dan berbagai macam batuan terobosan semi gunung api (*subvolcanic intrusions*) seperti halnya leher gunung api (*volcanic necks*), *sill*, retas, dan kubah bawah permukaan (*cryptodomes*). Batuan terobosan dangkal tersebut dapat ditemukan pada dinding kawah atau kaldera gunung api masa kini, atau pada gunung api purba yang sudah tererosi lanjut. Selain itu, karena daerah bukaan mulai dari *conduit* atau diatrema sampai dengan kawah merupakan lokasi terbentuknya fluida hidrotermal, maka hal itu mengakibatkan terbentuknya batuan ubahan atau bahkan mineralisasi. Apabila erosi di fasies sentral ini sangat lanjut, batuan tua yang mendasari batuan gunung api juga dapat tersingkap.

Fasies proksimal merupakan kawasan gunung api yang paling dekat dengan lokasi sumber atau fasies pusat. Asosiasi batuan pada kerucut gunung api komposit sangat didominasi oleh perselingan aliran lava dengan breksi piroklastika dan aglomerat (Gambar 7 dan 8). Kelompok batuan ini sangat resistan, sehingga biasanya membentuk timbunan tertinggi pada gunung api purba. Pada fasies medial, karena sudah lebih menjauhi lokasi sumber, aliran lava dan aglomerat sudah berkurang, tetapi breksi piroklastika dan tuf sangat dominan, dan breksi lahar juga sudah mulai berkembang. Sebagai daerah pengendapan terjauh dari sumber, fasies distal didominasi oleh endapan rombakan gunung api seperti halnya breksi lahar, breksi fluviatil, konglomerat, batupasir, dan batulanau. Endapan primer gunung api di fasies ini umumnya berupa tuf. Ciri-ciri litologi secara umum tersebut tentunya ada kekecualian apabila terjadi letusan besar sehingga menghasilkan endapan aliran piroklastika atau endapan longsor gunung api yang melampar jauh dari sumbernya. Pada pulau gunung api ataupun gunung api bawah laut, di dalam fasies distal ini batuan gunung api dapat berselang-seling dengan batuan nongunung api, seperti halnya batuan karbonat. Dari pengamatan di lapangan daerah Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Wonogiri, fasies medial dan fasies distal gunung api purba (Tersier) sudah tertutup oleh batuan karbonat.



Gambar 7. Perlapisan aliran lava dan breksi gunung api Kuartar pada fasies proksimal Gunung Galunggung, Tasikmalaya-Jawa Barat. Perhatikan bahwa tebal perlapisan sangat beragam dan sebaran lateralnya juga tidak selalu menerus, seperti halnya terjadi pada perlapisan kue lapis (*layered cake geology*). Fasies sentral di sebelah kiri dan fasies medial di sebelah kanan gambar. Perlapisan juga membentuk kemiringan awal (*initial dips*).



Gambar 8. Perlapisan aliran lava sebagai bagian dari fasies proksimal gunung api Tersier di Kali Ngalang, Gunungkidul – Yogyakarta.

IDENTIFIKASI BERDASARKAN VULKANOLOGI FISIK

Secara sedimentologi atau vulkanologi fisik, mulai dari fasies proksimal sampai fasies distal dapat dirunut perubahan secara bertahap mengenai tekstur dan struktur sedimen. Tekstur batuan klastika gunung api menyangkut bentuk butir, ukuran butir, dan kemas. Karena efek abrasi selama proses transportasi maka dari fasies proksimal ke fasies distal bentuk butir berubah mulai dari sangat meruncing -

meruncing sampai membandar - sangat membandar. Ukuran butir juga berubah dari fraksi sangat kasar - kasar, sedang sampai dengan halus - sangat halus. Hubungan antara butir fraksi kasar di daerah fasies proksimal pada umumnya membentuk kemas tertutup, tetapi kemudian berubah menjadi kemas terbuka di fasies medial sampai distal. Struktur sedimen, seperti struktur imbrikasi, silangsiur, *antidunes*, dan gores-garis sebagai akibat terlanda serukan piroklastika (*pyroclastic surges*) juga dapat membantu menentukan arah sumber dan sedimentasi.

Secara geometri, struktur aliran piroklastika, aliran lahar serta aliran lava dapat juga mendukung penentuan arah sumber erupsi. Dari pengukuran aliran lava berstruktur bantal (Gambar 9) di Watuadeg, diketahui sumber erupsinya terletak lk. 200 m di sebelah barat Kali Opak (Bronto & Mulyaningsih, 2001). Endapan aliran gravitasi tersebut biasanya mengalir mengikuti lembah sungai lama, mulai dari daerah puncak sampai lereng bawah, sementara itu dari kaki hingga dataran endapan tersebut dapat menyebar membentuk kipas. Struktur *bomb sag* sebagai akibat lontaran balistik bom gunung api dan jatuh menyudut (miring) terhadap permukaan tanah pada waktu terjadi letusan dapat juga membantu menentukan arah sumber letusan (Gambar 10).

IDENTIFIKASI BERDASARKAN STRUKTUR GEOLOGI

Lereng kerucut gunung api komposit yang semakin terjal ke arah puncak atau semakin landai ke arah kaki disebabkan oleh proses penumpukan bahan erupsi gunung api itu sendiri. Semakin jauh dari sumber erupsi atau kawah tumpukan bahan erupsi semakin tipis sehingga membentuk lereng yang semakin landai. Konsekuensinya, bahan piroklastika yang jatuh bebas akan mengendap mengikuti topografi sebelumnya yang sudah miring. Perlapisan endapan jatuhnya piroklastika membentuk jurus secara umum berpola konsentris, sedangkan kemiringannya semakin landai dari fasies proksimal ke arah fasies distal (Gambar 11). Pengamatan di lereng atas dan puncak gunung api masa kini, seperti Gunung Merapi di Jawa Tengah dan Gunung Bromo di Jawa Timur, memperlihatkan bahwa kemiringan awal dapat mencapai 35°. Di Gunung Suroloyo, yang merupakan bagian lereng selatan gunung api purba

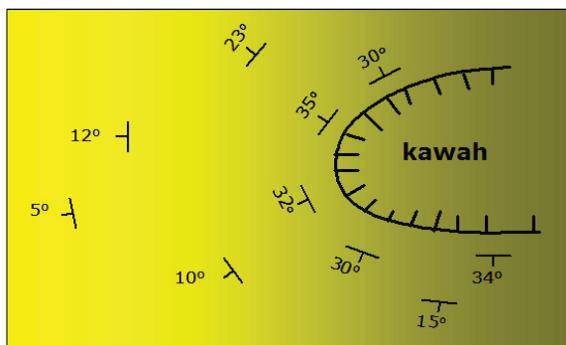


Gambar 9. Aliran lava basal berstruktur bantal di Kali Opak – Watuadeg, Berbah, Sleman – Yogyakarta.



Gambar 10. Struktur lontaran balistik bom gunung api (*bomb sag structure*) yang berasal dari kawah pada waktu terjadi letusan. Lontaran bom jatuh miring atau menyudut terhadap bidang perlapisan endapan tefra yang tertimpanya. Sebagai akibatnya endapan itu melesak ke bawah, secara tidak simetri sesuai dengan arah sudut lontaran. Singkapan ini terletak sekitar 300 m di sebelah timur kawah Gunung Tangkubanparahu di tepi jalan menuju ke puncak.

Menoreh berumur Tersier, kemiringan perlapisan batuan gunung api juga mencapai 35°. Kemiringan awal perlapisan batuan gunung api ini disebut *initial dips* atau *original dips*. Dengan demikian akan terjadi perubahan secara berangsur kemiringan awal perlapisan batuan gunung api dari miring terjal di fasies proksimal sampai miring landai di fasies medial, atau bahkan merupakan perlapisan horizontal



Gambar 11. Sketsa jurus dan kemiringan awal perlapisan batuan gunungapi yang berpola konsentris dan melandai menjauhi kawah gunung api.

di fasies distal. Perlapisan batuan gunung api itu mempunyai jurus berpola konsentris mengelilingi fasies pusat gunung api.

Pada saat bergerak ke permukaan, magma mendorong batuan di atas dan di sampingnya sehingga terjadi pengungkitan (*tilting*). Pengungkitan terbesar terdapat pada daerah puncak/kawah dan lereng atas, kemudian nilainya menurun ke arah lereng bawah dan kaki. Penggembungan lereng gunung api sebagai akibat daya dorong magma ke atas itu disebut inflasi. Sebaliknya, apabila magma mendingin atau membeku sehingga volumenya mengecil, atau magma bergerak kembali ke bawah sehingga lereng gunung api mengkerut, maka deformasi batuan gunung api ini disebut deflasi. Pada saat terjadi inflasi ukuran lingkaran kawah dipaksa membesar dan karena tersusun oleh batuan yang getas maka bibir kawah mengalami pecah-pecah membentuk rekahan berpola radier. Berhubung gerak magma dan erupsi gunung api terjadi berulang-ulang, maka proses inflasi-deflasi juga terjadi berkali-kali. Karena efek gaya berat dan keragaman sifat fisik batuan, rekahan radier itu dapat berkembang menjadi sesar normal di daerah puncak dan lereng atas.

Selanjutnya karena kombinasi efek gravitasi dan topografi lereng, blok-blok sesar turun di daerah puncak dan lereng atas dapat melengser membentuk sesar miring (turun-geser) pada lereng bawah. Sementara itu di daerah kaki, efek daya dorong sebagai akibat pelengseran massa batuan yang berasal dari puncak dan lereng jauh lebih kuat dari gaya gravitasi sehingga terbentuk sesar geser. Akhirnya di daerah dataran, daya dorong pelengseran menim-

bulkan gaya lateral sehingga dapat mengakibatkan terbentuknya sesar naik dan struktur perlipatan yang berpola konsentris mengelilingi kerucut gunung api (Bronto dr., 2004a).

Dari uraian di atas dapat diketahui bahwa pada fasies pusat dan fasies proksimal struktur geologi yang berkembang adalah sesar normal berpola radier, di fasies medial terbentuk sesar miring sampai sesar geser yang juga berpola radier. Sementara itu di fasies distal dapat terjadi sesar naik dan struktur perlipatan yang berpola konsentris. Pola struktur geologi yang diperkirakan sebagai akibat proses magmatisme dan vulkanisme dapat dicontohkan terjadi di daerah Gunung Ijo, Pegunungan Kulonprogo (Rahardjo dr., 1977) dan kaki utara-timur Gunung Slamet (Djuri dr., 1996).

IDENTIFIKASI BERDASARKAN PETROLOGI-GEOKIMIA

Berdasarkan pandangan geologi sedimenter selama ini (Bronto dr., 2004a) terdapat dua proses yang berbeda dan pada umur yang berbeda pula. Proses pertama adalah sedimentasi batuan gunung api di dalam suatu cekungan pengendapan, dimana sumber asal batuan tidak diketahui atau tidak dipersoalkan. Proses kedua adalah pembentukan magma di bawah cekungan pengendapan tersebut yang bergerak ke atas, sehingga menerobos perlapisan batuan sedimen gunung api di atasnya. Apabila hal ini yang terjadi maka secara petrologi-geokimia batuan sedimen gunung api dapat berbeda dengan batuan beku yang menerobosnya. Selain itu, batuan sedimen gunung api berumur lebih tua daripada batuan beku terobosan.

Sebaliknya, mengacu pada pandangan geologi gunung api, batuan ekstrusi dan batuan intrusi merupakan satu kesatuan proses yang terjadi pada lokasi dan umur relatif sama. Oleh sebab itu secara petrologi-geokimia batuan ekstrusi dan intrusi dapat dipandang bersumber dari magma yang sama dan mempunyai afinitas yang sama pula (*co-magmatic* atau *coherent*). Penelitian di Perbukitan Jiwo, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten Propinsi Jawa Tengah (Bronto dr., 2004b) menunjukkan bahwa batuan beku intrusi gabro mikro mempunyai komposisi mineral dan kimia yang sama dengan batuan ekstrusi aliran lava basal berstruktur bantal di dekat-

nya. Perbedaan hanya pada kehadiran gelas gunung api yang semakin menonjol di dalam lava basal. Hal itu memberikan gambaran bahwa batuan beku intrusi dan ekstrusi tersebut mempunyai afinitas yang sama sebagai satu kesatuan proses magmatisme dan vulkanisme. Keragaman komposisi sebagai akibat proses diferensiasi, misalnya terbentuk basal, andesit basal, andesit, dan dasit, dapat saja terjadi, tetapi semuanya berasal dari magma induk yang sama (Bronto, 2002). Apabila di dalam dapur magma gunung api terjadi pencampuran dua magma yang berbeda sumber, maka hal inipun masih dapat teridentifikasi baik di dalam batuan intrusi maupun batuan ekstrusi.

APLIKASI DI BIDANG MINERAL

Penelitian fasies gunung api dapat dimanfaatkan untuk pencarian sumber baru mineralisasi logam sulfida berdasarkan konsep pusat erupsi gunung api sebagai strategi untuk penelitian emas (*Volcanic Center Concept for Gold Exploration Strategy*, Bronto & Hartono, 2003; Bronto, 2003b). Interaksi antara gas asam, unsur logam, dan pancaran panas dari magma dengan air meteorik di dalam konduit gunung api membentuk fluida hidrotermal yang pada akhirnya menghasilkan batuan ubahan dan mineralisasi. Konduit atau istilah lain diatrema, *vent* dan korok gunung api terletak di bawah kawah dan di atas dapur magma. Ini berarti bahwa endapan mineralisasi terdapat di dalam fasies pusat gunung api. Oleh sebab itu dalam rangka pencarian sumber baru mineralisasi maka sebagai langkah pertama adalah dengan mencari fasies pusat gunung api purba. Tindakan ini sudah penulis laksanakan sehingga berhasil menemukan sumber baru mineralisasi di daerah Cupunagara, Kabupaten Subang, Propinsi Jawa Barat (Bronto drr., 2004c).

Apabila dicermati, hampir seluruh kawasan pertambangan emas dan logam sulfida lainnya terletak di dalam fasies pusat gunung api, mulai dari Grasberg di Papua (*e.g.* Coutts drr., 1999), Totopo Barat di Sulawesi Utara (Santos drr., 1999), Kelian di Kalimantan (*e.g.* Davies drr., 1999) dan Pongkor di Jawa Barat (*e.g.* Milesi drr., 1999; Hartono & Bronto, 2005). Permasalahan umum adalah para peneliti biasanya kurang tertarik untuk mendalami lingkungan geologi gunung api dalam kaitannya

dengan pembentukan cebakan emas.

Lebih lanjut berdasarkan analisis radiometri, batuan gunung api pada suatu kawasan mempunyai umur yang berbeda-beda. Sebagai contoh batuan gunung api di daerah Bayah, Formasi Cikotok berumur Paleogen, Tuf Citorek berumur Neogen dan di sekelilingnya terdapat batuan gunung api Kuartar (Sujatmiko & Santosa, 1992). Di daerah Cupunagara batuan gunung api ditemukan mulai dari umur 59 juta tahun yang lalu sampai dengan 1,4 juta tahun yang lalu (Bronto drr., 2004c; Utoyo drr., 2004). Di Pegunungan Kulon Progo batuan gunung api berumur 76 juta tahun yang lalu hingga 12 juta tahun yang lalu (Ngkoimani, 2005; Soeria-Atmadja drr., 1994; Akmaluddin drr., 2005). Di daerah Pacitan batuan gunung api berumur 42,7 juta tahun yang lalu sampai dengan 8,94 juta tahun yang lalu (Soeria-Atmadja drr., 1994). Data tersebut menunjukkan bahwa magmatisme dan vulkanisme terjadi berulang-ulang, dan tidak menutup kemungkinan hal itu juga diikuti oleh proses alterasi hidrotermal serta mineralisasi. Apabila hal itu benar maka diperkirakan pengkayaan mineralisasi dapat terjadi di daerah tersebut.

APLIKASI DI BIDANG LINGKUNGAN DAN KEBENCANAAN

Kawasan gunung api, yang pada umumnya berupa daerah tinggian, merupakan daerah tangkapan sekaligus resapan air hujan yang sangat baik. Dalam rangka pengelolaan sumber daya air tanah perlu diketahui karakter aliran air bawah permukaan yang dimulai dari fasies sentral dan fasies proksimal menuju ke fasies medial dan fasies distal. Di sinilah perlunya melakukan penelitian, identifikasi dan pemetaan terhadap wilayah yang termasuk di dalam fasies gunung api tersebut. Wilayah fasies sentral dan proksimal seyogyanya dilestarikan sebagai daerah tangkapan dan resapan air hujan, sedangkan pemanfaatan air tanah dilakukan di fasies medial atau bahkan di fasies distal.

Dalam rangka pembangunan pemukiman di kawasan Dago Pakar pada awal tahun 1980-an dilakukan penelitian geohidrologi di daerah Bandung Utara (Hartono, 1980). Berdasarkan bentuk bentang alam dan prinsip stratigrafi kue lapis air hujan yang jatuh di kawasan Dago Pakar yang tersusun oleh batuan gunung api Formasi Cikapundung akan meresap

dan mengalir mengikuti bidang perlapisan dengan kemiringan sekitar 20° ke selatan (Sampurno, 1981). Air hujan tersebut akan membentuk air tanah dalam (kedalaman > 200 m) di bawah dataran Bandung. Dengan demikian pembangunan pemukiman di kawasan Dago Pakar tidak akan berpengaruh terhadap suplai air permukaan dan air tanah dangkal di dataran Bandung.

Namun perlu dicermati bahwa batuan Formasi Cikapundung tersusun oleh perlapisan tidak menerus dari lidah lava, breksi, dan tuf seperti dilaporkan oleh Sampurno dr. (2004). Asosiasi batuan tersebut mencerminkan fasies proksimal-medial dari kompleks gunung api Sunda bagian selatan tenggara. Seperti dicontohkan pada Gambar 7, perlapisan aliran lava, breksi, dan bahan klastika gunung api lainnya tidak menerus seperti halnya pada perlapisan endapan kue lapis. Sedimentasi endapan aliran gravitasi seperti aliran lava, aliran piroklastika, dan lahar bersifat sektoral, mengikuti alur-alur sungai purba. Endapan yang dapat menerus tersebar luas hanya jenis jatuhan piroklastika (tuf jatuhan), tetapi karena endapan ini berada di lingkungan darat dimana proses erosi dan sedimentasi silih berganti, maka hal tersebut menyebabkan tuf jatuhan itu juga tidak dapat sepenuhnya menerus seperti endapan di lingkungan laut. Lebih dari itu, endapan jatuhan piroklastika di lingkungan darat biasanya mempunyai jurus dan kemiringan orisinal yang mengikuti topografi sebelumnya, yakni melandai dari fasies proksimal ke fasies medial. Hal ini terbukti pada pengukuran lapisan endapan gunung api di Dago Utara yang hanya menunjukkan kemiringan sekitar 5-7° (Sampurno dr., 2004), jauh lebih kecil dari 20°.

Dengan demikian batuan gunung api di dalam fasies proksimal-medial tersebut dapat disetarakan dengan endapan di dalam sungai teranyam atau berstruktur silang-siur (Bronto & Hartono, 2006), atau kemiringan lapisan batuan yang semakin landai ke arah selatan. Konsekuensi pemikiran ini adalah air yang jatuh di kawasan Dago Pakar sampai Sesar Lembang, selain dapat menjadi air tanah dalam, juga mensuplai air tanah dangkal atau bahkan air permukaan di dataran Bandung. Jika hal itu benar, maka berkembangnya pembangunan pemukiman yang dimulai dari Jalan Babakan Siliwangi-Punclut dan Dago Pakar di sebelah barat sampai dengan lereng selatan Gunung Manglayang di sebelah timur dapat

berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas suplai air tanah dangkal dan air permukaan di dataran Bandung.

Berdasarkan pengamatan terhadap proses dan produk erupsi gunung api aktif masa kini, maka jenis bahaya gunung api pada setiap fasies gunung api dapat diperkirakan. Di dalam fasies sentral dan proksimal gunung api, jenis bahaya yang dapat terjadi adalah lontaran batu pijar (bom/blok gunung api), hujan abu, gas beracun, awan panas (aliran piroklastika), aliran lava, dan guguran kubah lava. Pada fasies medial jenis bahaya gunung api adalah awan panas, hujan abu, aliran lahar, sedangkan bahaya pada fasies distal berupa hujan abu, aliran lahar, dan banjir. Informasi ini sangat penting dalam rangka menyusun peta kawasan rawan bencana gunung api yang mempunyai potensi untuk meletus pada masa mendatang, sekaligus penataan lingkungan hidup di wilayah tersebut (Bronto, 1992; 1994; 1995; 2000, 2001).

PENGEMBANGAN KONSEP GEOLOGI

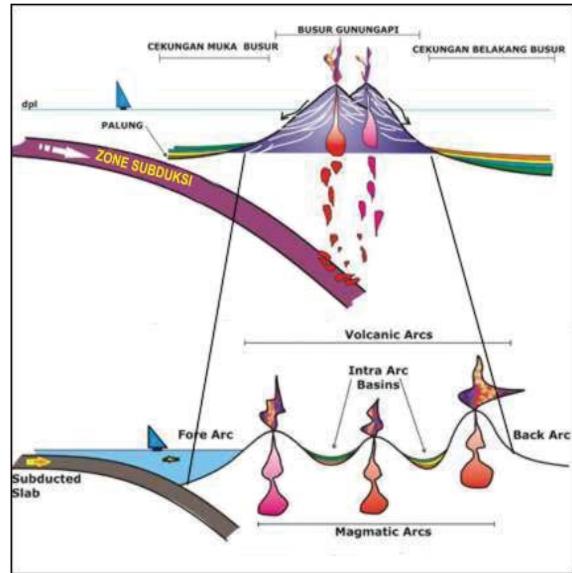
Beberapa penulis terdahulu (Martodjojo, 2003; Soeria-Atmadja dr., 1994) menyatakan bahwa di Jawa telah terjadi perpindahan busur magma Tersier dan Kuartar sebagai akibat perubahan lokasi jalur penunjaman kerak bumi. Menurut Martodjojo (2003) pada umur Kapur - Awal Eosen jalur magma berada di utara Jawa Barat dan daratan Jawa sekarang, terutama daerah Cekungan Bogor merupakan cekungan busur depan. Dari Eosen Akhir - Oligosen tidak ada proses magmatisme dan volkanisme di Jawa Barat. Selanjutnya pada Miosen Awal jalur gunung api berada di selatan Jawa Barat. Sementara itu Soeria-Atmadja dr. (1994) melaporkan adanya perubahan busur magma Tersier di sepanjang Pulau Jawa. Busur magma Eosen Akhir-Miosen Awal terdapat di bagian selatan Pulau Jawa, sedangkan busur magma Miosen Akhir-Pliosen terletak di sebelah utaranya, berhimpitan dengan busur magma Kuartar.

Namun demikian, dari penelitian penulis mengenai fosil gunung api Tersier di Jawa Barat (Bronto, 2003c) dan umur radiometri (Bronto dr., 2004c; Bronto dr., 2005) serta Sunardi dan Koesoemadinata (1999) ditemukan adanya batuan gunung api berumur Paleogen dan Neogen yang terletak di bawah sebaran batuan gunung api Kuartar. Ini berarti telah

terjadi tumpang-tindih kegiatan gunung api di Jawa, paling tidak sejak Tersier Bawah hingga masa kini. Perpindahan titik erupsi gunung api di permukaan tidak disebabkan oleh perubahan zone subduksi, tetapi mungkin karena dalam pergerakannya ke permukaan magma hanya mencari tempat-tempat lemah untuk dilalui. Terjadinya tumpang-tindih kegiatan gunung api tersebut melahirkan Konsep Gunung Api Tumpang Tindih (*The Concept of Superimposed volcanisms*; Bronto dr., 2005; Bronto dr., 2006).

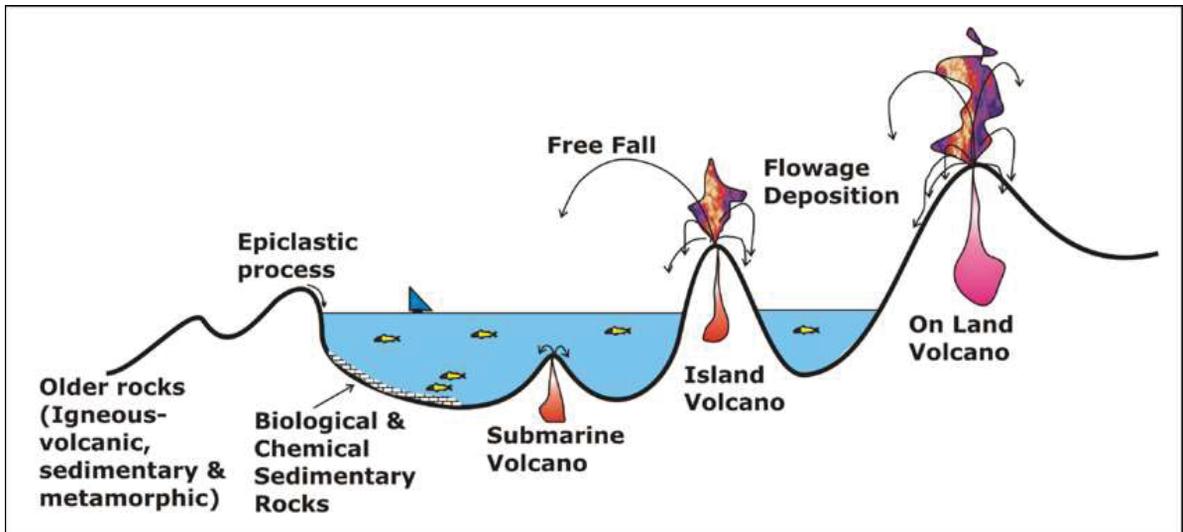
Selama ini banyak literatur yang menggambarkan busur gunung api sebagai suatu garis lengkung yang tipis, sehingga hanya terisi kerucut gunung api dan tidak memungkinkan terbentuknya cekungan sedimentasi di dalamnya. Namun kenyataannya, secara regional busur gunung api merupakan zone yang cukup lebar yang mana di dalamnya terdapat beberapa kerucut gunung api dan di antaranya terbentuk cekungan sedimentasi. Sebagai contoh di Jawa Barat, gunung api masa kini yang terletak di paling selatan adalah Gunung Papandayan; di bagian tengah Gunung Guntur, Gunung Malabar, dan Gunung Patuha; sedang di bagian utara terdapat Gunung Tangkubanparahu, Gunung Tampomas, dan Gunung Ciremai. Di antara kerucut gunung api tersebut terdapat Cekungan Garut, Cekungan Bandung, dan Cekungan Cianjur. Busur gunung api Tersier juga diperkirakan merupakan zone yang melebar dari utara ke selatan. Hal itu ditunjukkan dengan ditemukannya beberapa fosil gunung api Tersier di tepi selatan Jawa Barat dan daerah Purwakarta, Subang sampai Kadipaten - Majalengka di Jawa Barat bagian utara (Bronto, 2003c). Secara analogis dengan kondisi masa kini maka diperkirakan di antara kerucut gunung api Tersier juga terdapat cekungan sedimentasi. Pemikiran ini melahirkan Konsep Cekungan di dalam Busur Gunung Api (*The Concept of Intra-Arc Basins*, Gambar 12; Bronto 2003c; Bronto dr., 2006). Waktu pengendapan mempunyai umur yang sama dengan kegiatan gunung api. Hal ini dapat dicermati di dalam peta geologi yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (sekarang bernama Pusat Survei Geologi, Bandung, e.g. Sujatmiko dan Santosa, 1992; Kastowo dan Suwarna, 1996) dimana satuan-satuan batuan gunung api mempunyai umur yang sama dengan satuan batuan sedimen di dekatnya.

Cekungan sedimentasi di dalam busur gunung api Tersier pada waktu itu mungkin sebagian berupa



Gambar 12. Cekungan di dalam busur gunung api (*intra-arc basins*), yang terbentuk di antara kerucut gunung api di dalam zone busur gunung api. Dibanding dengan cekungan busur muka (*fore arc basin*) dan cekungan busur belakang (*back arc basin*), maka cekungan di dalam busur gunung api relatif lebih kecil tetapi banyak; proses sedimentasi, aktivitas tektonika, magmatisme dan vulkanisme sangat aktif, melibatkan berbagai kondisi lingkungan pengendapan, terutama mulai dari laut dangkal sampai darat kering (Bronto dr., 2006).

laut. Cekungan tersebut tidak hanya dikelilingi oleh gunung api pada masa itu, tetapi tidak menutup kemungkinan terdapat tinggian batuan tua, apakah batuan gunung api yang lebih tua, batuan sedimen, batuan beku intrusi atau bahkan batuan metamorf. Batuan tersebut mengalami pengerjaan ulang sehingga sedimen epiklastiknya masuk ke dalam cekungan. Di dalam cekungan itu sendiri bisa saja terbentuk gunung api bawah laut atau pulau gunung api dan sedimen hasil proses biologi dan kimia (Gambar 13). Dengan demikian batuan yang terbentuk di dalam cekungan dan dalam waktu yang bersamaan dapat berasal dari berbagai sumber, sehingga analisis ini memunculkan Konsep Cekungan Salome (*The Concept of Salome Basins*; Bronto 2003a; Bronto dr., 2006). Terbentuknya cekungan di dalam busur gunung api yang merupakan Cekungan Salome mendorong kita untuk melakukan penelitian lebih lanjut, terutama dalam kaitannya dengan penataan stratigrafi dan evaluasi dinamika cekungan serta dalam rangka pencarian sumber baru mineral dan energi di dalam busur gunung api.



Gambar 13. Sedimentasi di dalam Cekungan Salome, sebagai bagian dari cekungan di dalam busur gunung api. Sumber material berasal dari pengerjaan ulang batuan tua (proses epiklastika, membentuk batuan silisiklastika), proses biologi dan kimia yang membentuk batuan sedimen klastika dan non klastika, serta kegiatan gunung api bawah laut (*submarine volcano*), pulau gunung api (*island volcano*) dan gunung api di darat (*on land volcano*) yang membentuk batuan beku koheren dan batuan klastika gunung api.

KESIMPULAN

1. Fasies gunung api terdiri atas fasies sentral, fasies proksimal, fasies medial, dan fasies distal. Pada gunung api muda, berumur Kuartar - masa kini, pembagian fasiesnya relatif mudah karena didukung oleh bentuk bentang alam berupa kerucut komposit yang masih sangat jelas. Fasies sentral terletak di daerah puncak, fasies proksimal di lereng atas, fasies medial di lereng bawah, dan fasies distal berada di kaki dan dataran di sekelilingnya.

2. Untuk gunung api purba, berumur Tersier atau lebih tua, dimana bentuk kerucut kompositnya sudah tidak jelas, identifikasi fasies gunung api perlu diteliti berdasarkan pada pendekatan analisis in-deraja-geomorfologi, stratigrafi batuan gunung api, vulkanologi fisik, struktur geologi, serta petrologi-geokimia.

3. Pembagian fasies gunung api dapat dimanfaatkan untuk mendukung pencarian sumber baru mineral dan energi, penataan lingkungan hidup termasuk tata ruang dan penyediaan air bersih, serta mendukung usaha penanggulangan bencana geologi.

Ucapan Terima Kasih—Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Rusabdisalam dan Gendoet Hartono, ST MT, yang telah membantu menyiapkan komputerisasi gambar. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Pengurus Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada yang telah mengundang penulis untuk memberikan kuliah tamu sesuai dengan judul makalah ini pada 8 Maret 2006 di Yogyakarta.

ACUAN

- Akmaluddin, D.L. Setijadji, Watanabe, K., dan Itaya, T., 2005. New interpretation on magmatic belts evolution during the Neogene-Quaternary periods as revealed from newly collected K-Ar ages from Central-East Java – Indonesia. *Joint Convention IAGI-HAGI-PERHAPI*, Nov. 28-30, 2005, Surabaya.
- Bogie, I. dan Mackenzie, K.M., 1998. The application of a volcanic facies models to an andesitic stratovolcano hosted geothermal system at Wayang Windu, Java, Indonesia. *Proceedings of 20th NZ Geothermal Workshop*, h.265-276.
- Bronto, S., 1992. Volcanoes and their volcanic hazard map preparations. *Prosiding EMNHD-2*, Yogyakarta, V.3, h.1-13.
- Bronto, S., 1994. Erupsi gunungapi, bahaya dan

- penanggulangannya. *Simposium Nasional Mitigasi Bencana Alam*, Universitas Gadjah Mada, 16-17 September, Yogyakarta, 20h.
- Bronto, S., 1995. Prediksi geologi dan penyajian informasi potensi bencana gunungapi khususnya bagi pengembangan wilayah pemukiman dan pariwisata. *Seminar Nasional Informasi Geologi dalam pengembangan tata ruang kota dan wilayah*, ITB, Nov., Bandung, 18h.
- Bronto, S., 2000. Volcanic hazard assessment of Krakatau volcano, Sunda Strait Indonesia. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, 2, h.20-29.
- Bronto, S., 2001. Penilaian Potensi Bahaya G. Galunggung Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat. *Alami: Jurnal, Air, Lahan, Lingkungan, dan Mitigasi Bencana*, 6, BPPT, Jakarta, h.1-13.
- Bronto, S., 2002. Differentiation Process in the 1982-83 Galunggung Eruptive Products. *Bulletin Geological Research and Development Centre*, no. 22, Juli 2002, h.85-101.
- Bronto, S. 2003a. Kendala Penerapan Satuan Stratigrafi Gunungapi. *Majalah Geologi Indonesia*, 18, h.23-37.
- Bronto, S., 2003b. Penelitian Sumber Daya Energi dan Mineral Berbasis Ilmu Gunung api. *Majalah Mineral & Energi*, 1, h.24-26.
- Bronto, S., 2003c. Gunungapi Tersier Jawa Barat: Identifikasi dan Implikasinya. *Majalah Geologi Indonesia*, 18, h.111-135.
- Bronto, S., Achnan, K., Kartawa, W., Dirk, M.H., Utoyo, H., Subandrio, J., dan Lumbanbatu, K., 2004c. Penelitian Awal Mineralisasi di Daerah Cupunagara, Kabupaten Subang – Jawa Barat. *Majalah Geologi Indonesia*, 19, h.12-30.
- Bronto, S., Bijaksana, S., Sanyoto, P., Ngkoimani, L.O., Hartono, G., dan Mulyaningsih, S., 2005. Tinjauan Vulkanisme Paleogene Jawa. *Majalah Geologi Indonesia*, 20, h.195-204.
- Bronto, S., Budiadi, Ev., dan Hartono, H.G., 2004a. Permasalahan Geologi Gunungapi di Indonesia. *Majalah Geologi Indonesia*, 9, h.91-105.
- Bronto, S., Budiadi, Ev., dan Hartono, H.G., 2006. A new perspective of Java Cenozoic volcanic arcs. *Proceedings The Jakarta International Geoscience Conference And Exhibition*, Agustus h.14-16, 2006 (in press).
- Bronto, S. dan Hartono U., 2003. Strategi Penelitian Emas Berdasar Konsep Pusat Gunungapi. *Prosiding Koloqium. ESDM 2002*, 13-14 Jan. 2003, P3TekMira, Bandung, h.172-189.
- Bronto, S. dan Hartono, U., 2006. Potensi sumber daya geologi di daerah Cekungan Bandung dan sekitarnya. *Jurnal Geologi Indonesia*, 1, h.9-18.
- Bronto, S., Hartono, G., dan Astuti, B., 2004b. Hubungan genesa antara batuan beku intrusi dan batuan beku ekstrusi di Perbukitan Jiwo, Kecamatan Bayat, Klaten Jawa Tengah. *Majalah Geologi Indonesia*, 19, h.147-163.
- Bronto, S., dan Mulyaningsih, S., 2001. Volcanostratigraphic development from Tertiary to Quaternary: A case study at Opak River, Watuadeg-Berbah, Yogyakarta, Abstr.. *30th Annual Convention IAGI & 10th Geosea Regional Congress*, Sept. 10-12, 2001, Yogyakarta, 158h.
- Coutts, B.P., Susanto, H., Belluz, N., Flint, D., dan Edwards, A., 1999. Geology of the Deep Ore Zone, Ertsberg East Skarn System, Irian Jaya. *PACRIM '99*, Bali, Indonesia, 10-13 Okt. 1999, h.539-547.
- Davies, A.G.S., Crooke, D.R., & Gemmell, J.B., 1999. Characteristics, Timing and Formation of Diatreme Breccias at the Kelian Gold, East Kalimantan, Indonesia. *PACRIM'99*, Bali, Indonesia, 10-13 Okt. 1999, h.81-90.
- Djuri, M., Samodra, H., Amin, T.C., dan Gafoer, S., 1996. Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal, Jawa, skala 1:100.000. *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Hartono, D., 1980. *The Geology of Bandung Depression and The Distribution of Aquifers*. Tesis S1, Dept. of Geology, ITB, Indonesia, 136h.
- Hartono, U. dan Bronto, S., 2005. Penentuan posisi mineralisasi Au Gunung Pongkor pada fasies gunung api purba daerah Bogor, Jawa Barat. *Joint Convention IAGI-HAGI-PERHAPI*, Nov. 28-30, 2005, Surabaya.
- Kastowo dan Suwarna, N., 1996. Peta Geologi Lembar Majenang, Jawa, skala 1:100.000, ed. ke-2. *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Macdonald, G.A., 1972. *Volcanoes*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 510h.
- Martodjojo, S., 2003. *Evolusi Cekungan Bogor Jawa Barat*. Penerbit ITB, Bandung, 238h.
- Martodjojo, S. dan Djuhaeni, 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia IAGI, Jakarta, 25h.
- Milesi, J.P., Marcoux, E., Sitorus, T., Simanjuntak, M., Leroy, J., dan Bailly, L., 1999. Pongkor (West Java, Indonesia): a Pliocene supergene-enriched epithermal Au-Ag-(Mn) deposit. *Mineralium Deposita*, 34, h.131-149.
- Ngkoimani, L.O., 2005. *Magnetisasi pada batuan andesit di pulau Jawa serta implikasinya terhadap paleomagnetisme dan evolusi tektonik*. Disertasi S3, ITB, 110h.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H.M., 1977. Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1:100.000. *Direktorat Geologi*, Bandung.
- Sampurno, 1981. Geologi Bandung Utara dan Peranannya. Di dalam Sampurno, 2004, Kilas Balik Pelangi Kehidupan Sampurno. *Kumpulan Kliping Artikel Koran dan Majalah 1976-2002, Purnabakti 70 tahun Sampurno*, Desember 2004, h.17-24.
- Sampurno, 2004. Percobaan analisis mengenai hubungan antara geologi cekungan Bandung Raya dengan potensi serta kendala pembangunan. Di dalam Sampurno, 2004, Jejak Langkah Geologi dari Borobudur hingga Punclut, *Kumpulan Karya Tulis Purnabakti 70 tahun Sampurno*, Desember 2004, h.107-124.
- Sampurno, Bandono, dan Deny, J.P., 2004. Studi kawasan Punclut di Kabupaten/Kodya Bandung dari Segi aspek geologi lingkungan. Di dalam sampurno, 2004, Jejak Langkah Geologi dari Borobudur hingga Punclut.

- Kumpulan Karya Tulis Purnabakti 70 tahun Sampurno*, Desember 2004, h.125-155.
- Santos, F.R., Sulistiono, P., dan Litaay, N.E.W., 1999. Totopo West, a low sulphidation epithermal system in North Sulawesi. *Proceedings The 28th Annual Convention IAGI*, 30 Nov.-1 Des. 1999, Jakarta, h.203-215.
- Schieferdecker, A.A.G. (Ed.), 1959. *Geological Nomenclature*. Royal Geol. And Minings Soc. Of the Netherlands, J. Noorduijn en Zoon N.V., Gorinchem, 523h.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., dan Priadi, B., 1994. Tertiary magmatic belts in Java. *Journal of South East Asian Earth Sciences*, 9, h.13-12.
- Sujatmiko dan Santosa, S., 1992. Peta Geologi Lembar Leuwidamar, Jawa, skala 1:100.000. *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Sunardi, E. dan Koesoemadinata, R.P., 1999. New K-Ar Ages and the Magmatic Evolution of the Sunda-Tangkuban Perahu Volcano Complex Formation, West Java, Indonesia. *Proceedings The 28th Annual Convention IAGI*, 30 Nov.-1 Des. 1999, Jakarta, h.63-71.
- Utoyo, H., Dirk, M.H.J., Bronto, S., dan Lumbanbatu, K., 2004. K-Ar age of volcanic in Cupunagara, Subang, West-Java. *Proceedings of 33rd Annual Convention and Exhibition 2004, IAGI*, Bandung, 29 Nov. – 1 Des. 2004, h.81-87.
- Vessels, R.K. dan Davies, D.K., 1981. Non Marine Sedimentation in an Active Fire Arc Basin, in F.G. Etridge & R.M. Flores (Eds.), Recent and Ancient Non Marine Depositional Environments: Models for Exploration. *Society of Economic Paleontology, Special Publication*, no. 31.
- Williams, H. dan McBirney, A.R., 1979. *Volcanology*. Freeman, Cooper, San Francisco, h.135-142.